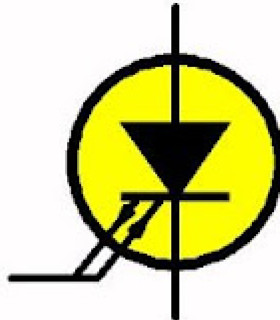
Gate Turn Off Thyristor (GTO)

GTO staat voor 'Gate Turn Off' en dit onderdeel is een van de meest veelzijdige elektronische schakelaars. De GTO heeft de voordelen van de thyristor én de transistor: hoge sperspanningen, zeer grote stromen, snelle schakeltijden en besturing met minimaal vermogen. Ideaal dus voor het in- en uitschakelen van tientallen kW's.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 17-09-2018

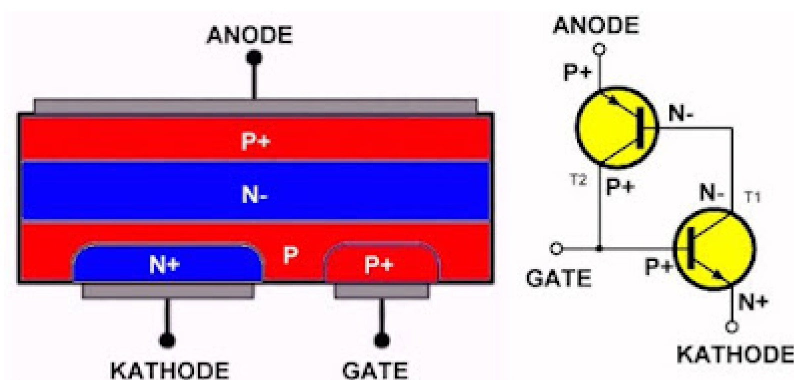
Kennismaking met de GTO

In- en uitschakelen via de gate
Een GTO is in feite niets meer dan een thyristor, die echter niet alleen via de gate is in te schakelen, maar ook is uit te schakelen. Deze eigenschap komt tot uiting in het symbool dat in onderstaande figuur is voorgesteld. De twee pijltjes in de gate geven duidelijk deze dubbele werking weer.



Het symbool van een GTO.
(© 2018 Jos Verstraten)

De halfgeleider structuur
De GTO heeft intern dezelfde vierlagen structuur als een thyristor en u kunt deze dus ook door het rechter 'twee transistor model' voorstellen.



De halfgeleider structuur en het equivalent schema van een GTO. (© 2018 Jos Verstraten)

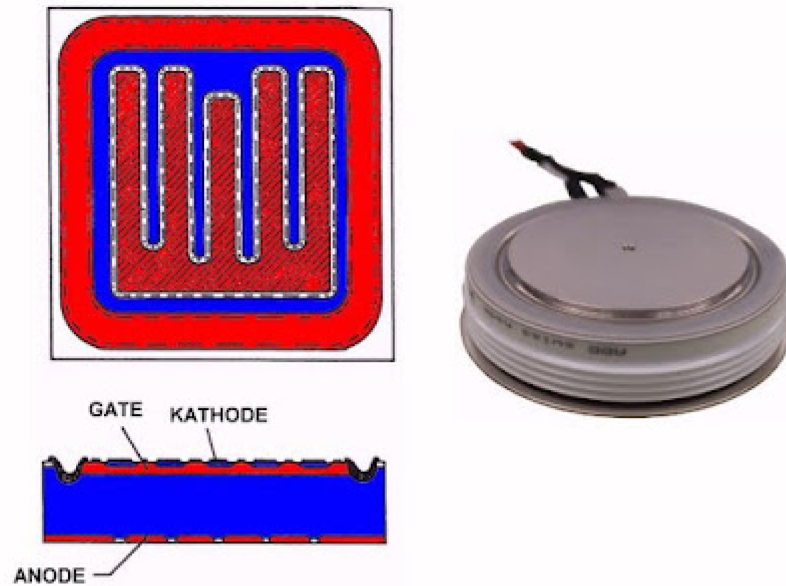
De werking van een GTO

De werking kan beknopt als volgt worden beschreven. Als u een positieve stroom in de basis van de NPN-transistor T1 stuurt, dan komt deze transistor in geleiding. De collector van deze transistor, die verbonden is met de basis van de PNP-transistor T2, trekt stroom waardoor de PNP-transistor T2 in geleiding wordt gebracht. Zijn collectorstroom vloeit in de basis in van de NPN-transistor T1 en veroorzaakt daarmee een lawine-effect. Dit houdt in dat de twee transistoren elkaar in geleiding houden, zelfs als u de stuurstroom tot nul reduceert.
In tegenstelling tot een thyristor is een GTO echter zo ontworpen dat u een negatieve gatespanning kunt gebruiken om dit lawine-proces te onderbreken, waardoor de elektronische schakelaar uit geleiding wordt gehaald. Meestal is een spanning van ongeveer -5 V voldoende om dit effect te bereiken. Dit is mogelijk door de versterkingsfactor van de NPN-transistor relatief groot en die van de PNP-transistor relatief klein te maken.

Eigenschappen van een GTO
Een GTO combineert de hoge sperspanning en de hoge schakelstroom van een thyristor met de grote stroomversterking en de eenvoud van besturing die u van bij bipolaire transistoren en darlingtons gewend bent. Het gevolg hiervan is dat er slechts minimale gatestromen noodzakelijk zijn, het schakelen gebeurt snel en efficiënt. Door de eenvoud wordt er een aanzienlijke besparing verkregen op de externe onderdelen, noodzakelijk voor het ontsteken en doven van de GTO. Een GTO bezit bovendien goede statische en dynamische $\Delta v/\Delta t$-eigenschappen.

Het houd-effect
Een volgend voordeel is dat de ingebouwde versterking een houd-effect (latching) tot gevolg heeft. Hoe groter de stroom die door de GTO vloeit, des te meer komt de GTO in verzadiging, dit in tegenstelling tot de transistor die juist bij hogere stromen uit zijn verzadiging komt. De GTO bezit bij hogere stromen een lagere doorlaat spanningsval. De GTO kan dan ook met gemak duizenden ampères stroom schakelen, waardoor het onderdeel ideaal is voor het besturen van zware elektrische motoren, zoals in de locomotieven van treinen. Tevens bezit de GTO een grotere stroom overbelastingsfactor dan een transistor waardoor u dit onderdeel met een zekering tegen kortsluiting kunt beschermen.

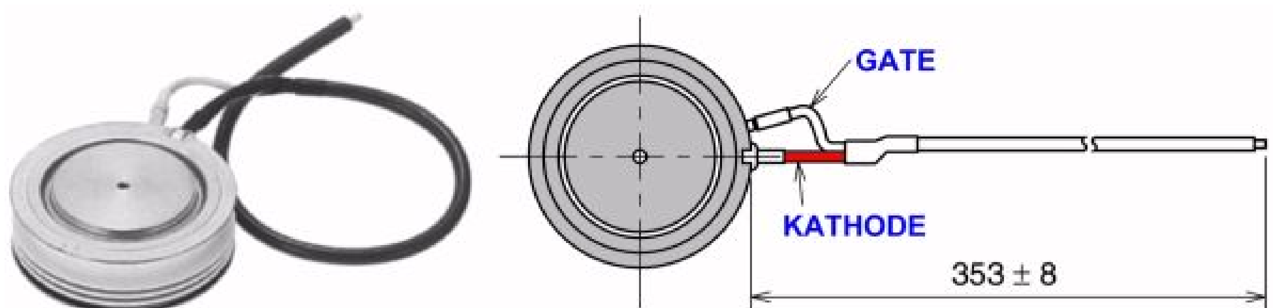
De technologie van een GTO
GTO's worden volgens een speciale technologie gefabriceerd, waardoor de noodzakelijke chip-afmetingen veel kleiner zijn dan deze voor transistoren, darlingtons of thyristoren. Ter vergelijking: een onderdeel dat 1.5O0 V bij 5 A moet verwerken, moet bij MOS-technologie meer dan 35 mm² aan chip-oppervlakte bezitten. Bij een transistor ligt dit rond 28 mm², bij een darlington rond de 20 mm² en bij een GTO slechts 15 mm². Hieruit blijkt duidelijk dat de GTO de kleinste chip-oppervlakte heeft.
In onderstaande figuur is de GTO-structuur weergegeven. Door gouddoping bezit de GTO, in vergelijking met hoogspanning transistoren, een lagere opslagtijd, zodat bij het naar sper gaan de in de chip opgeslagen elektrische lading veel sneller kan afvloeien. Door deze zeer snelle daaltijd is de GTO heel duidelijk in het voordeel ten opzichte van de hoogspanning transistor en de thyristor.
De kritische spanning-steilheid van meer dan 2.000 V/µs ligt duidelijk ver boven de grenzen van thyristoren.



De technologie van een GTO. (© 2018 Jos Verstraten)

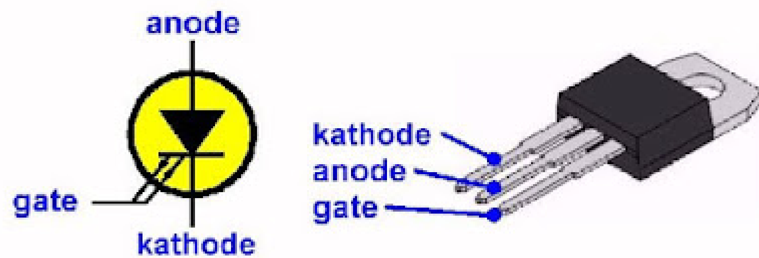
Twee praktische voorbeelden

De FG1000BV-90DA van Mitsubishi
Het zal u inmiddels wel duidelijk zijn dat u GTO's niet zult aantreffen in de dimmer van de staande lamp in uw huiskamer. GTO's worden voornamelijk industrieel toegepast in schakelingen waarin duizenden ampères aan stroom vloeien. Als voorbeeld ziet u in onderstaande figuur de FG1000BV-90DA van Mitsubishi, een GTO die een piekstroom van 1.000 A kan verdragen en een sperspanning van 4.500 V. De diameter van het onderdeel bedraagt slechts 47 mm, het onderste vlak is de anode. De gate-trigger spanning bedraagt maximaal 1,5 V.



De FG1000BV-90DA van Mitsubishi. (© Mitsubishi)

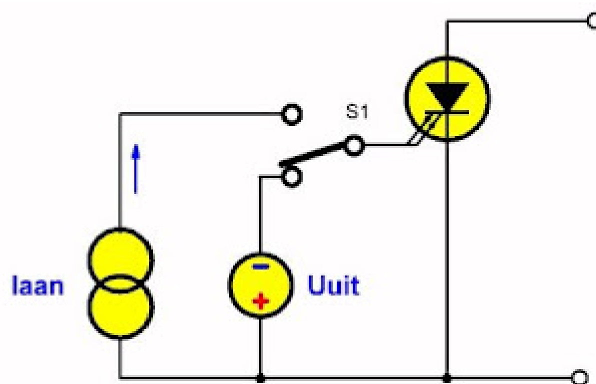
De BTV58/600R van NXP Semiconductors
De FG1000BV-90DA is uiteraard een extreem voorbeeld van een GTO. Er bestaan ook minder zware uitvoeringen zoals de BTV58/600R van NXP Semiconductors (ex. Philips), obsolete maar nog steeds leverbaar. Deze GTO kan een piekstroom van 75 A schakelen, 25 A continustroom verdragen en kan een reverse spanning van 600 V doorstaan. Het onderdeel zit in de welbekende TO-220 behuizing met de gate rechts en de kathode links en kost slechts € 2,00.



De BTV58/600R van NXP Semiconductors. (© NXP Semiconductors)

Het besturen van GTO's

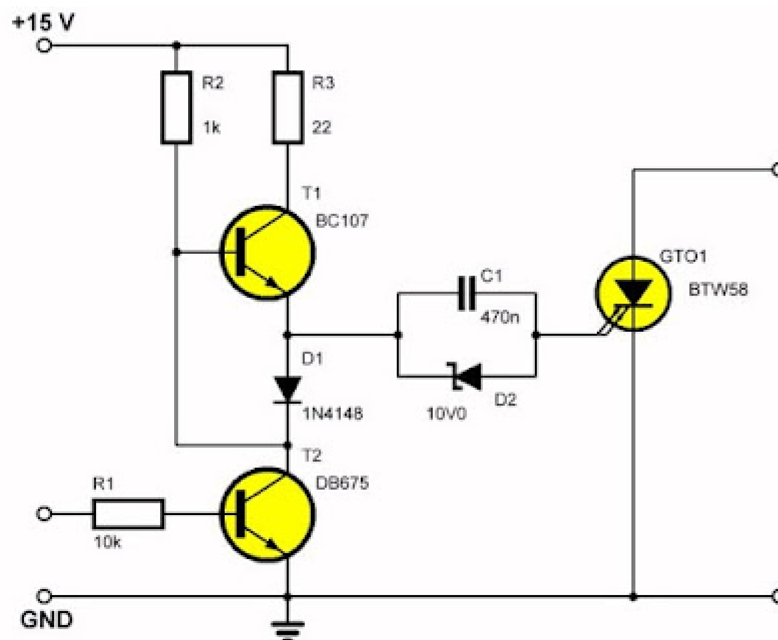
Stroom voor inschakelen, spanning voor uitschakelen
Voor zowel het inschakelen als het uitschakelen heeft een GTO korte schakeltijden nodig. In het geval van de BTV58/600R van Philips is dit minder dan 0,5 µs. Om dit te verwezenlijken is het echter noodzakelijk dat het onderdeel op de juiste wijze wordt gestuurd. Dit betekent dat u een positieve stroom in de gate moet sturen om het onderdeel in geleiding te brengen en een negatieve spanning op de gate moet aanleggen om de GTO weer naar sper te sturen. De GTO gaat gegarandeerd naar sper als deze spanningsbron gedurende enige nanoseconden een stroompuls uit de gate kan trekken met een waarde van 20 tot 100 % van de anodestroom.
Dit wordt gerealiseerd door een negatieve spanning tussen -5 V en -10 V direct tussen de gate en de kathode aan te leggen.
Het principe van de besturing van een GTO kan dus samengevat worden door het schema van onderstaande figuur. Een stroombron om de GTO in te schakelen en een spanningsbron om deze weer uit te schakelen.



Het principe van het besturen van een GTO.
(© 2018 Jos Verstraten)

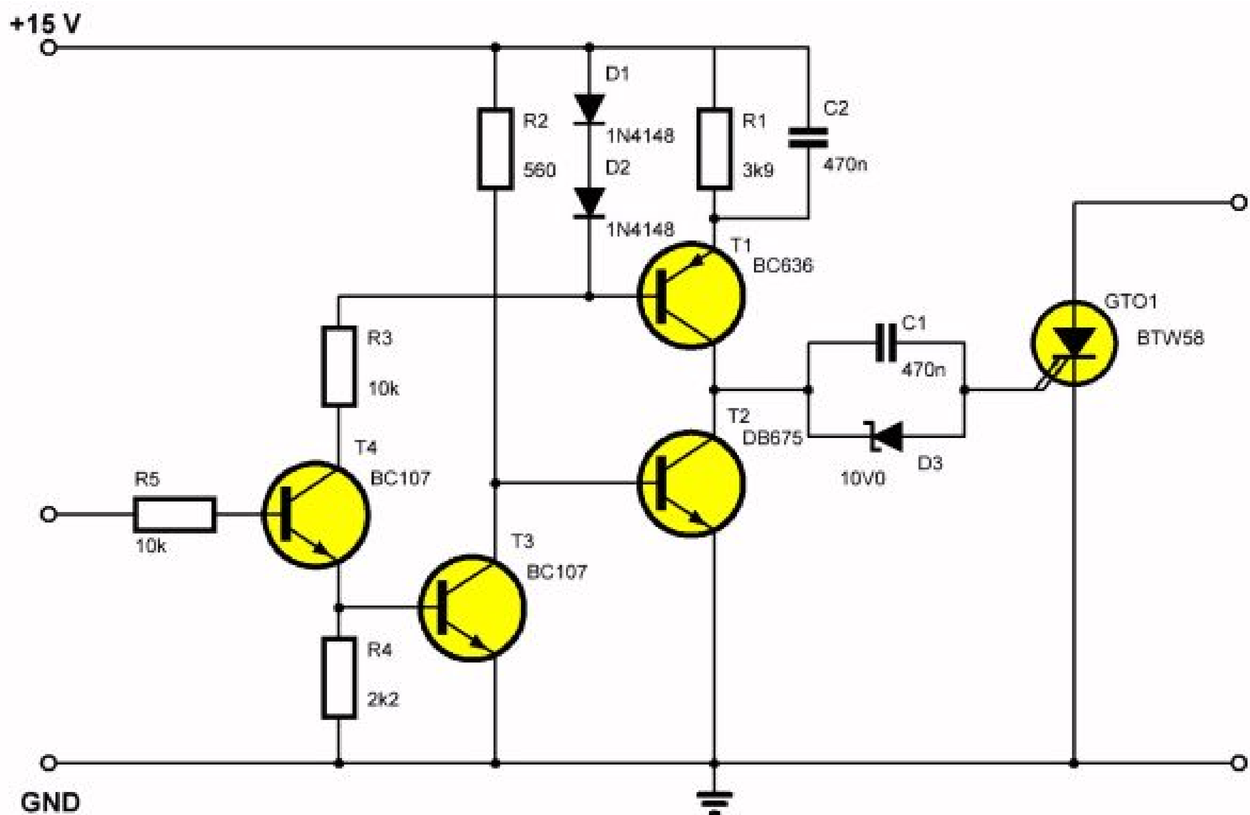
Een praktische schakeling
Natuurlijk zult u niet altijd een negatieve spanningsbron ter beschikking hebben. In onderstaande figuur is een praktische schakeling getekend, waarbij dit niet noodzakelijk is. In deze schakeling wordt de negatieve uitschakelspanning verkregen door middel van een condensator. Condensator C1 wordt opgeladen gedurende de tijd dat de GTO in geleiding is. De grootte van de laadspanning wordt bepaald door zenerdiode D2, hiermee ligt de grootte van de uitschakelspanning vast. Dit schakelingetje vormt de spanningsbron. De stroombron die de GTO in geleiding stuurt wordt verkregen door de als emittervolger geschakelde transistor T1. Als u T2 naar sper stuurt kan er een positieve stuurstroom in de gate gaan lopen. Vanaf de voedingsspanning van +15 V loopt immers via de reeds genoemde T1 een stroom naar de gate van het element. Stuurt u T2 in geleiding dan schakelt transistor T1 uit en er ontstaat een negatieve spanning van ongeveer 10 V, welke wordt bepaald door de waarde van de zener D2. De condensator was immers opgeladen en er ontstaat plotseling een spanningsverandering door het uitschakelen van T1. Deze negatieve spanning komt op de gate van de GTO. De schakelaar komt uit geleiding. Zo lang als T2 in geleiding is, zal de gatespanning negatief blijven omdat de gateweerstand van de GTO in gesperde toestand erg

hoog is. Het gevolg is dat C1 slechts langzaam zal worden ontladen.
Deze schakeling is in staat om anodestromen tot 10 A zonder moeite te schakelen. Lopen er kleinere anodestromen, dan kunt u volstaan met een zenerdiode met een kleinere spanningswaarde.



Een praktische schakeling voor het in- en uitschakelen van een GTO.
(© 2018 Jos Verstraten)

Een zeer goede GTO-besturing
Het nadeel van de vorige schakeling is dat de stroom die u in de gate stuurt afhankelijk is van de grootte van de voedingsspanning. In onderstaande figuur is een schakeling getekend die dit bezwaar niet heeft en die u kunt beschouwen als dé goede standaardmanier voor het aansturen van een GTO. T1 vormt een gestuurde stroombron die zorgt voor de benodigde positieve sturing van de gate. Deze stroombron wordt ingesteld door middel van de twee dioden in de basis en de emitterweerstand R1. Legt u een positief signaal op de ingang, dan gaat de transistor T4 geleiden en activeert de stroombron. De constante stroom die door T1 wordt geleverd gaat via de diode D3 naar de gate van de GTO, dit onderdeel ontsteekt. Gaat de stuurspanning naar 0 V dan gaat T4 sperren en wordt de basis van T1 met de voeding verbonden. Het gevolg is dat T1 ook gaat sperren en de constante stroom wegvalt.
Als de stuurspanning 0 V is staat er uiteraard geen spanning over de weerstand R4. Transistor T3 gaat naar sper, waardoor transistor T2 basisstroom kan trekken uit de weerstand R2. Deze halfgeleider gaat geleiden, waardoor de linker plaat van de opgeladen condensator C1 met de massa wordt verbonden. Deze actie levert de negatieve spanningssprong op de gate van de GTO die noodzakelijk is om het onderdeel weer naar sper te schakelen.



Een ideale schakeling voor het aan- en uitschakelen van een GTO.
(© 2018 Jos Verstraten)